

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

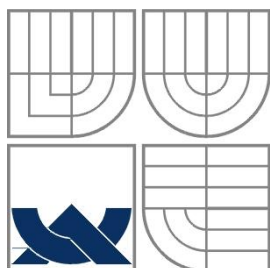
POHON AKUMULÁTOROVÉHO KOLEJOVÉHO VOZIDLA AV 10/1190

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

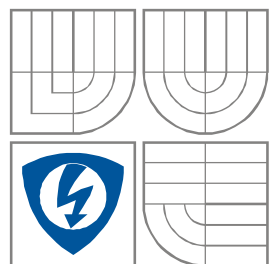
Martin Pastorek

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

POHON AKUMULÁTOROVÉHO KOLEJOVÉHO VOZIDLA AV 10/1190

BATTERY ELECTRICAL DRIVE OF THE RAIL VEHICLE AV 10/1190

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

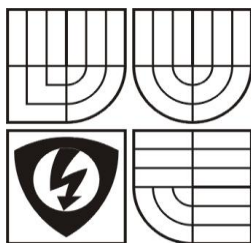
Martin Pastorek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR Procházka, Ph.D.

BRNO, 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Semestrální práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

Student: Nováček Petr

Ročník: 3

ID: 11111

Akademický rok: 2010/11

NÁZEV TÉMATU:

Počítačová grafika v silnoproudé elektrotechnice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište novinky v programu Autodesk Inventor 2010.
2. Zhodnoťte kompatibilitu CAD programů z hlediska tvorby výkresové dokumentace.
3. Vytvořte model asynchronního motoru v programu Autodesk Inventor 2010.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 10.10.2010

Termín odevzdání: 26.05.2011

Vedoucí projektu: doc. Dr. Ing. Hana Kuchyřková

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

Abstrakt

Cílem práce je navrhnout pohon pro kolejový vůz napájený z baterie pro vnitropodnikovou dopravu. V úvodu práce je definováno a o jaký vůz se jedná, k čemu je určen a z čeho se skládá. První kapitola je věnována základnímu rozboru v různých režimech provozu vozu. Druhá kapitola se zabývá výpočtu minimální tažné síly potřebné k provozu vozu. Třetí kapitola pak k objevení potřebné momentově-otáčkové charakteristiky vozu. Ve čtvrté kapitole jsou shrnuty možné varianty koncepce pohonu. V páté kapitole je pak definován motor s pevným převodem převodovky. V šesté kapitole je uveden návrh použitého pohonu s asynchronním motorem. Koncepce pohonu a jeho realizace je uvedena v kapitole sedmé. Poslední kapitola je zaměřena na ovládání vozu a jeho spouštění.

Abstract

The goal is to design a drive for tracked vehicle on battery power for in-house transportation. In the beginning is defined and what car this is what is intended and what is composed. The first chapter is devoted to basic analysis of the various modes of operation of the vehicle. The second chapter deals with the calculation of the minimum tensile strength required to operate the vehicle. The third chapter to discover the necessary torque-car-turn characteristics. The fourth chapter summarizes the possible variants of the concept of power. The fifth chapter is then defined with a fixed engine transmission gear. The sixth chapter describes a design used in induction motor drive. Propulsion concept and its implementation is given in chapter seven. The last chapter focuses on the control of the car and starts.

Klíčová slova

Stejnoseměrný stroj s permanentními magnety, synchronní stroj s permanentními magnety, asynchronní stroj s kotvou nakrátko, trakční měnič, akumulátor, Li-Fe-Po

Keywords

DC machine with permanent magnet, synchronous machine with permanent magnet, induction machine with squirrel cage traction inverter, battery, Li-Fe-Po

Bibliografická citace

Bibliografická citace – PASTOREK, M. *Pohon akumulátorového kolejového vozidla AV 10/1190*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 44 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Petr Procházka, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou semestrální práci na téma Pohon akumulátorového kolejového vozidla AV 10/1190 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

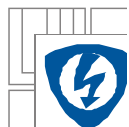
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrální práce Ing. Petru Procházkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Josefu Ospalému a firmě Elektropohony spol. s r.o., Závodí 234, Frenštát pod Radhoštěm 74401, která mi umožnila pracovat na tomto projektu.

V Brně dne

Podpis autora

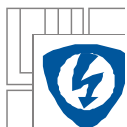


Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD	12
1 ZÁKLADNÍ ROZBOR	15
1.1 POTŘEBNÝ MECHANICKÝ VÝKON	15
1.2 PŘEKONÁNÍ STOUPÁNÍ	15
1.3 PŘEKONÁNÍ VALIVÉHO TŘENÍ.....	15
1.4 PŘEKONÁNÍ ODPORU VZDUCHU	16
1.5 VZNIK AKCELERACE	16
2 VÝPOČET MINIMÁLNÍ TAŽNÉ SÍLY	17
3 MOMENTOVĚ-OTÁČKOVÁ (RESP. VÝKONOVĚ-OTÁČKOVÁ) CHARAKTERISTIKA	20
4 POHONY V TRAKCI.....	22
4.1 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR S PERMANENTNÍMI MAGNETY	22
4.2 SYNCHRONNÍ STROJ S PERMANENTNÍMI MAGNETY	22
4.3 ASYNCHRONNÍ STROJ S KOTVOU NAKRÁTKO	23
4.4 SHRUTÍ.....	23
5 MOTOR S PEVNÝM PŘEVODEM PŘEVODOVKY	24
6 NÁVRH POHONU S ASYNCHRONNÍM MOTOREM S KOTVOU NAKRÁTKO	25
7 KONCEPCE POHONU A JEHO REALIZACE	28
7.1 MOTOR S PŘEVODOVKOU	28
7.2 TROJFÁZOVÝ TRAKČNÍ MĚNIČ.....	28
7.3 AKUMULÁTOR	33
7.4 NABÍJECÍ STANICE.....	35
8 OVLÁDÁNÍ A SPOUŠTĚNÍ VOZU	38
9 ZÁVĚR.....	42
LITERATURA	43

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 0.1 Popis akumulátorového kolejového vozu. Převzato z [8].....	12
Obrázek 1.1 Vozidlo ve stoupání. Převzato z [8], upraveno autorem.	15
Obrázek 1.2 Valivé tření. Převzato z [8], upraveno autorem.	16
Obrázek 2.1 Potřebný mechanický výkon P , ztráty třením P_v , ztráty odporem vzduchu P_0 a výkon potřebný ke zrychlení ΔP	19
Obrázek 3.1 Momentově-otáčková a výkonově-otáčková charakteristika.	21
Obrázek 6.1 Asynchronní motor s kotvou nakrátko s typovým označením Sh 90L-4.	25
Obrázek 6.2 Momentově-otáčková charakteristika motoru vozu.....	27
Obrázek 7.1 Blokové schéma pohonu vozidla.....	28
Obrázek 7.2 Zapojení konektoru měniče Curtis Model 1234.	30
Obrázek 7.3 Měnič Curtis Model 1234.....	31
Obrázek 7.4 Rozměry měniče Curtis Model 1234 v milimetrech (v palcích).....	32
Obrázek 7.5 Články Li-Fe-Po typu 26650EV.	33
Obrázek 8.1 Silová část zapojení.	39
Obrázek 8.2 Ovládací část zapojení 1.....	40
Obrázek 8.3 Ovládací část zapojení 2.....	41



SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 2.1 Technické parametry vozu.</i>	17
<i>Tabulka 2.2 Souhrn potřebného výkonu a ztrát.</i>	19
<i>Tabulka 3.1 Momentově-otáčková a výkonově-otáčková charakteristika</i>	20
<i>Tabulka 6.1 Souhrn momentů a výkonů motoru Sh 90L-4.</i>	26
<i>Tabulka 6.2 Momentově-otáčková charakteristika motoru vozu.</i>	27
<i>Tabulka 7.1 Souhrn požadovaných napěťových, proudových a výkonových parametrů a parametrů měniče.</i>	31
<i>Tabulka 7.2 Parametry článku 26650EV.</i>	34
<i>Tabulka 7.3 Parametry trakční baterie Water Less 4 PzM 240.</i>	35
<i>Tabulka 7.4 Technické parametry nabíječky TCP1 LT 48V 30A.</i>	36

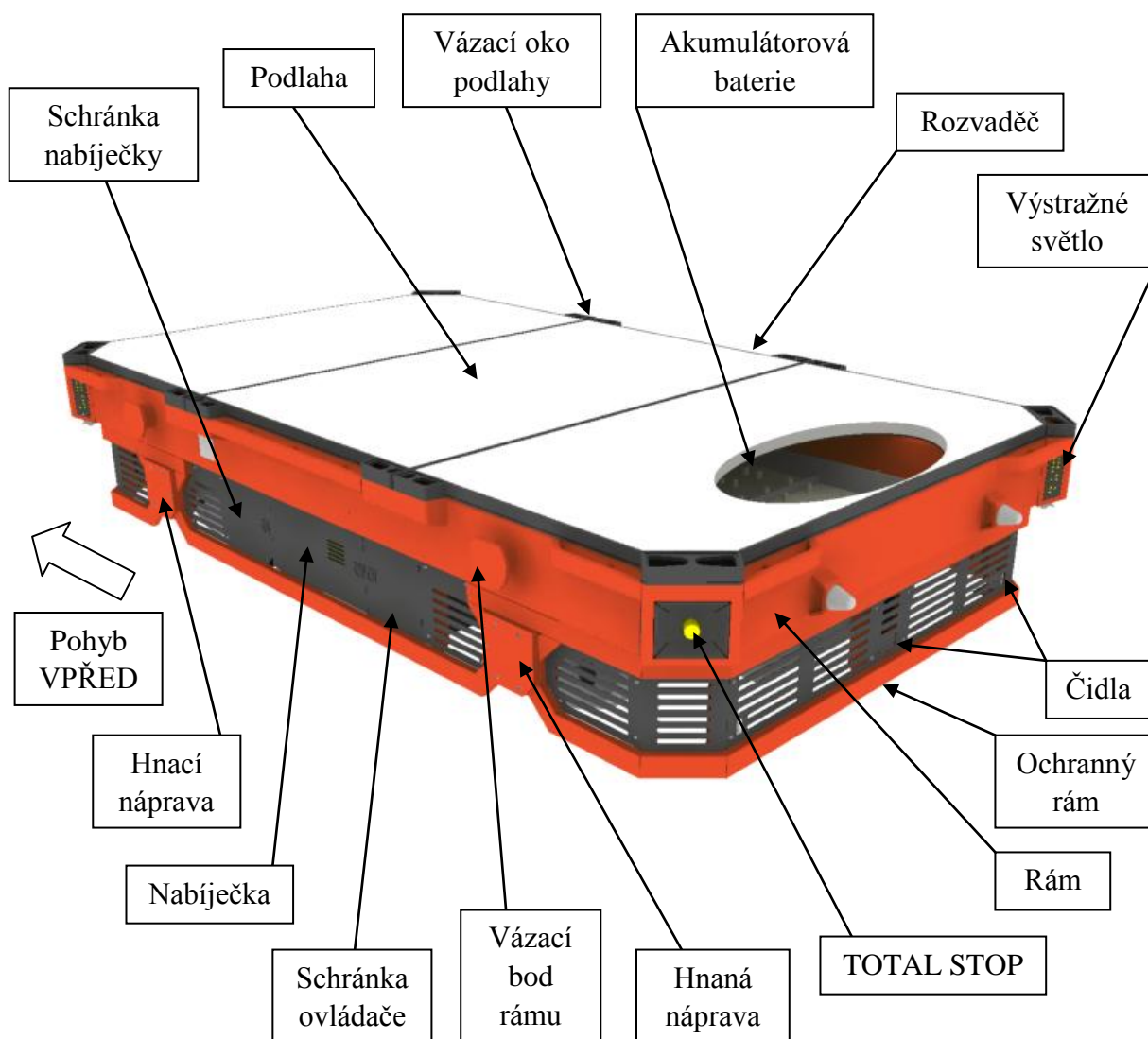
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

C_x	koeficient odporu vzduchu (aerodynamický koeficient)
D	průměr kola vozu
F	síla
F_0	síla potřebná k překonání odporu vzduchu
F_n	kolmá tlaková síla
F_s	síla potřebná k překonání stoupání
F_v	třecí síla valivého tření
ΔF	přírůstek tažné síly
G	tíhová síla
I_l	záběrný proud motoru
$I_{(max)}$	amplituda proudu motoru
$I_{N(ef)}$	efektivní hodnota fázového proudu motoru
M	moment
M_l	záběrný moment
M_{max}	maximální moment
M_N	jmenovitý moment motoru
M_{zvr}	moment zvratu motoru
P	výkon
P_0	výkon potřebný k překonání odporu vzduchu
P_{1N}	jmenovitý příkon motoru
P_{2N}	jmenovitý výkon motoru
P_{2S}	výkon v přesyceném stavu
P_s	výkon potřebný k překonání stoupání
P_v	výkon potřebný k překonání valivého tření
ΔP	přírůstek výkonu
R	poloměr kola vozu
S	čelní průřez
U_N	jmenovité napětí
a	zrychlení
$\cos\varphi$	účinník
f_l	síťový kmitočet

g	tíhové zrychlení
i	převod
m	hmotnost
n	počet otáček za minutu
n_{max}	maximální otáčky
n_N	jmenovité otáčky motoru
o	obvod
p	počet pólových dvojic
$2p$	počet pólů
t	čas
v	rychlost
α	úhel stoupání
ξ	koeficient valivého tření (rameno valivého odporu)
η_M	účinnost motoru
η_P	účinnost převodovky
π	Ludolfovo číslo
ρ	hustota vzduchu
ω	úhlová rychlost

ÚVOD

Kolejový akumulátorový vůz AV10 je vyvinut firmou TEBECO spol. s r.o. a je určený pro vnitropodnikovou dopravu po suchém, hladkém a nemastném povrchu kolejí. Vůz se může pohybovat po kolejích vpřed nebo vzad a jeho maximální celkové zatížení je 10 000 kg.



Obrázek 0.1 Popis akumulátorového kolejového vozu. Převzato z [8].

Rám je tvořen ocelovými profily, které zajišťují dostatečnou stabilitu a nosnost vozu. Na bocích rámo jsou čtyři **vázací body**.

Ochranný rám brání vniknutí cizích těles do pracovního prostoru vozu. Pro výstrahu je barevně označen.

Hnané kolo je usazené na hřídeli, která je uložena v ložiskových domcích.

Hnací kolo je usazené na hřídeli, která je spojena s pohonem a je uložena v ložiskových domcích.

Pohon předává energii hnacím kolům. Je složen z elektromotoru s brzdou, spojky, převodovky a kardanové hřídele. Pohon je pružně spojen s rámem. Motor je napájen z akumulátorové baterie a je ovládán frekvenčním měničem zajišťující plynulý rozjezd a brzdění vozu.

Podlaha je složena ze tří částí. Každá z nich je tvořena ocelovou vanou vyloženou dřevěnými deskami nebo překližkou o tloušťce 40 mm. Podlahy jsou natřeny protiskluzovým povrchem. Pozici vany na plošině rámu zajišťují čepy, které zapadají do středících otvorů v rámu. Podlahy se zvedají za vázací oka podlah – 4 rohové úchyty.

Protiskluzový povrch podlahy má vynikající odolnost proti otěru i úderu, odolává široké řadě průmyslových chemikálií. Odolává i vlhkému prostředí. Je určen pro vysoce namáhané povrchy při dlouhodobé trvanlivosti.

Akumulátorová baterie je odizolována, vyjímatelná a pružně spojena s rámem. Baterie je vybavena centrálním doplňováním elektrolytu a napájí elektromotor pohonu. Baterie jsou napojeny na rozvaděč. Dále je ofukována proudem vzduchu z ofuku. Ofuk umožňuje dobíjení baterie bez odstranění podlah. **Ofuk** se skládající z vodícího potrubí a ventilátoru slouží pro ředění koncentrace nebezpečných par vznikajících nad baterií při provozu a nabíjení.

Rozvaděč obsahuje řídicí systém stroje a je namontován z boku vozu. Jako ochrana proti samovolnému spuštění vozu při poruše v instalaci (při vzniku dvojího zkratu) je instalován hlídač izolačního stavu (HIS). Hlídač izolačního stavu vyřadí elektroinstalaci z provozu a nedovolí další spuštění až do odstranění závady. Rozvaděč je opatřen hlavním jističem zapojeným ve funkci hlavního vypínače.

Nabíječka slouží pro dobíjení akumulátorové baterie, je-li připojena k extrémnímu elektrickému zdroji pomocí kabelu. Nachází se pod rámem vozu, naproti elektrickému rozvaděči. Nabíječka zobrazuje plný stav nabití baterie a stav úplného vybití.

Plnicí ventil baterií zajišťuje doplnění kapaliny akumulátorových baterií z jednoho místa. Je umístěn na baterii.

Zásuvka nabíjení je umístěna ve schránce nabíječky. Zajišťuje připojení nabíječky na zdroj elektrické energie.

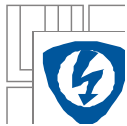
Ovládací panel slouží k řízení pohybu stroje systémem mrtvého muže. Řízení je zajištěno pomocí spojovacího kabelu. Pro krajní případy hrozícího rizika je panel vybaven tlačítkem TOTAL STOP. Ovládač je uzamykatelný. Ovládač se uschovává ve schránce ovládače.

Houkačka výstražná je ovládána z ovládacího panelu a je určena pro potřeby obsluhy. Je umístěna v interiéru vozu.

Houkačka upozorňovací je uvedena automaticky do chodu dojde-li k pohybu vozu. Je umístěna v interiéru vozu.

Výstražná světla upozorňují své okolí na pohyb vozu. Světla jsou chráněny krytem a jsou situována v rozích vozu.

Čidla slouží pro zabránění kolize v případě nedodržení minimální vzdálenosti.



Označení vozu je zajištěno štítky po bocích rámu. Na štítcích je vyznačena: nosnost, výrobce, kontaktní údaje, hmotnost vozu, typ a informace vozu.

Uvedený popis vozidla je čerpán z [8].

1 ZÁKLADNÍ ROZBOR

1.1 Potřebný mechanický výkon

Potřebný mechanický výkon motoru P je dán součinem potřebné tažné síly F a rychlosti v .

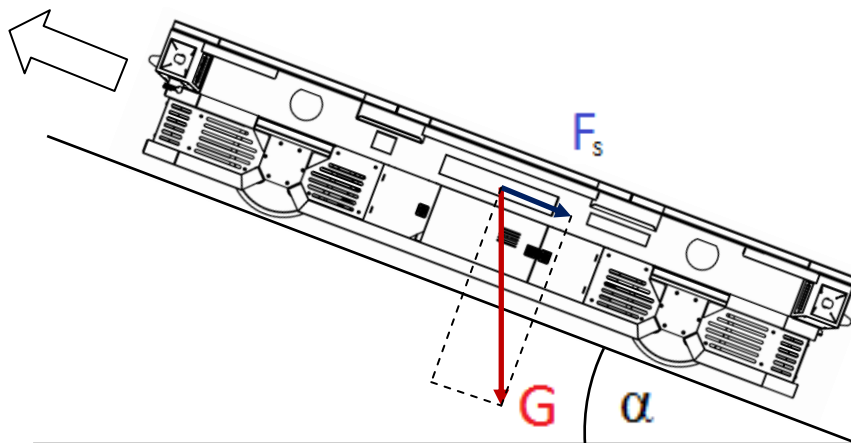
$$P = F \cdot v. \quad (1.1)$$

1.2 Překonání stoupání

Odpor stoupání je určen složkou tíhové síly G působící na kola vozu ve směru rovnoběžném s nakloněnou rovinou s úhlem sklonu α . Tíhová síla je síla, kterou Země přitahuje vůz tím, že mu uděluje tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m/s}^2$. Výkon k překonání stoupání je roven:

$$P_s = F_s \cdot v = G \sin \alpha \cdot v = mgv \sin \alpha. \quad (1.2)$$

V rovnici značí m hmotnost vozidla a v rychlost, s jakou se vůz pohybuje. Vzhledem k tomu, že stoupání trati je nulové a vůz tím pádem jezdí po rovině, je teoreticky potřebná síla i výkon k překonání stoupání nulový.



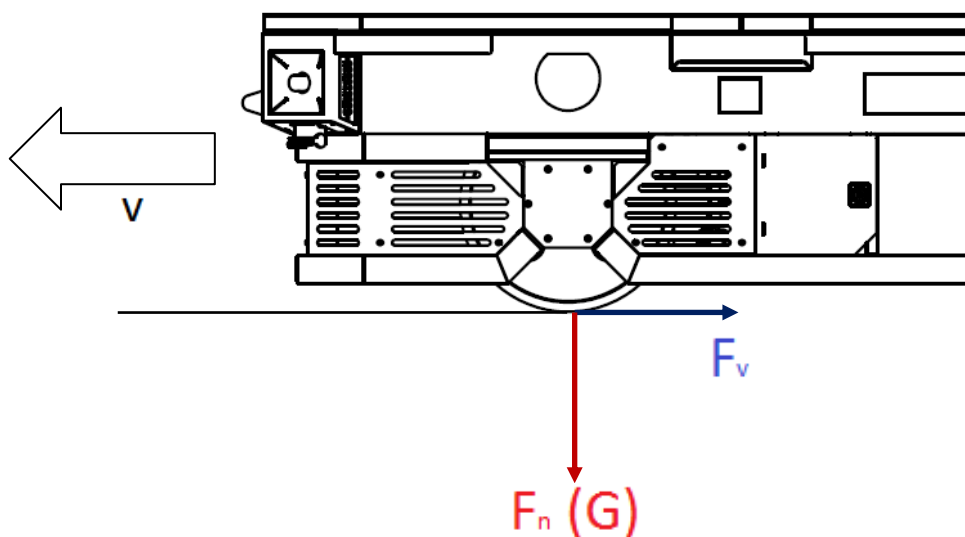
Obrázek 1.1 Vozidlo ve stoupání. Převzato z [8], upraveno autorem.

1.3 Překonání valivého tření

Valivé tření vzniká mezi valíci se koly vozu a povrchem kolejnice. Příčinou je stlačování a deformace kolejnice a valících se kol vozu. Třecí síla valivého tření F_v je úměrná kolmé tlakové síle F_n . Výkon k překonání valivého tření je roven:

$$P_v = F_v \cdot v = \xi \cdot F_n \cdot v = \xi \cdot mgv. \quad (1.3)$$

Kde ζ je koeficient valivého tření nebo tzv. rameno valivého odporu. Jeho hodnota závisí na materiálu kola, materiálu kolejnice a na úpravě jejich povrchu.



Obrázek 1.2 Valivé tření. Převzato z [8], upraveno autorem.

1.4 Překonání odporu vzduchu

K překonání odporu vzduchu je zapotřebí překonat sílu F_o úměrnou hustotě vzduchu ρ , čelnímu průřezu vozu S a druhé mocnině rychlosti v . Výkon k překonání odporu vzduchu je roven:

$$P_o = F_o \cdot v = \frac{1}{2} C_x S \rho v^2 \cdot v = \frac{1}{2} C_x S \rho v^3. \quad (1.4)$$

Ve vztahu značí C_x koeficient odporu vzduchu tzv. aerodynamický koeficient. Vzhledem k malé pojezdové rychlosti vozu bude vliv odporu vzduchu zanedbatelný, neboť výkon roste s třetí mocninou rychlosti.

1.5 Vznik akcelerace

Ke vzniku akcelerace je zapotřebí přírůstek tažné síly ΔF , který je přímo úměrný velikosti zrychlení a . Výkon pro vznik akcelerace poroste lineárně s okamžitou rychlostí a je roven:

$$\Delta P = \Delta F \cdot v = mav. \quad (1.5)$$

Kde zrychlení a je rovno:

$$a = \frac{v}{t}. \quad (1.6)$$

V rovnici značí t čas, za který se vůz rozjede na okamžitou rychlost.

2 VÝPOČET MINIMÁLNÍ TAŽNÉ SÍLY

Minimální tažnou sílu budeme počítat podle zadaných parametrů vozíku Tabulka 2.1 Technické parametry vozu. Rychlost vozu 2,1 km/h je stanovena vzhledem k obsluze, která vůz ovládá a doprovází jej. Hmotnost vozu i s maximální vahou břemene je 12 800 kg.

Tabulka 2.1 Technické parametry vozu.

nosnost	10 000 kg
hmotnost vozu včetně baterie	2 800 kg
rychlost plně zatíženého vozu max.	2,1 km/h = 0,583 m/s
doba rozběhu na jmenovitou rychlost	5 s
koeficient valivého tření	0,0005 m
hustota vzduchu	1,18 kg/m ³
koeficient odporu vzduchu	0,82 - 1,28
průměr kola	350 mm
rozchod kol	1190 mm
rozvor kol	1850 mm
délka vozu	3150 mm
šířka vozu	1740 mm
délka ložné plochy	3000 mm
šířka ložné plochy	1700 mm
výška ložné plochy a vozu	500 mm
výška ložné plochy od kolejiště	480 mm
čelní průřez	0,87 m ²
stoupání trati max.	0 ‰
napětí	48 V

a) Výkon k překonání stoupání

Je-li rychlost vozu $v = 2,1$ km/h (0,583 m/s) a hmotnost vozu i s maximální provozní zátěží $m = 12\,800$ kg, bude mechanický výkon k překonání odporu stoupání roven podle vztahu (1.2). Vzhledem k tomu, že stoupání trati se uvažuje nulové, bude síla i výkon k překonání stoupání nulový.

b) Výkon k překonání valivého tření

Koeficient valivého tření $\xi = 0,0005$. Vůz musí být schopen překonat třecí sílu valivého tření podle vztahu (1.3):

$$F_v = \xi \cdot F_n = \xi mg = 0,0005 \cdot 12800 \cdot 9,81 = 62,8 \text{ N} . \quad (2.1)$$

Potřebný mechanický výkon k překonání valivého tření je roven:

$$P_v = F_v \cdot v = 62,8 \cdot 0,583 = 36,6W. \quad (2.2)$$

c) Výkon k překonání odporu vzduchu

Z hlediska tvaru vozu a jeho způsobu přepravy břemen je zřejmé, že se hodnota koeficientu odporu vzduchu bude měnit. Síla proudění vzduchu kolem vozu roste s druhou mocninou jeho rychlosti a výkon pak roste s třetí mocninou jeho rychlosti. Vzhledem k malé pojízdné rychlosti vozu lze odpor vzduchu zanedbat.

d) Výkon pro vznik akcelerace

Vůz by měl být schopen určité akcelerace. Přijatelné je akcelarovat na max. rychlost $v = 2,1$ km/h za dobu $t = 5$ s. Tomu odpovídá akcelerace podle vztahu (1.6):

$$a = \frac{v}{t} = \frac{0,583}{5} = 0,1166m \cdot s^{-2}. \quad (2.3)$$

Potřebný přírůstek tažné síly je roven:

$$\Delta F = m \cdot a = 12800 \cdot 0,1166 = 1492,5N. \quad (2.4)$$

Celkový přírůstek výkonu:

$$\Delta P = \Delta F \cdot v = 1492,5 \cdot 0,583 = 870,6W. \quad (2.5)$$

e) Minimální tažná síla a celkový mechanický výkon

Minimální tažná síla vozu je dána součtem všech potřebných sil:

$$F = F_s + F_v + F_o + \Delta F = 0 + 62,8 + 0 + 1492,5 = 1555,5N. \quad (2.6)$$

Potřebný mechanický výkon vozu pro jeho pohyb podle vztahu (1.1) je roven:

$$P = F \cdot v = 1555,5 \cdot 0,583 = 907,4W. \quad (2.7)$$

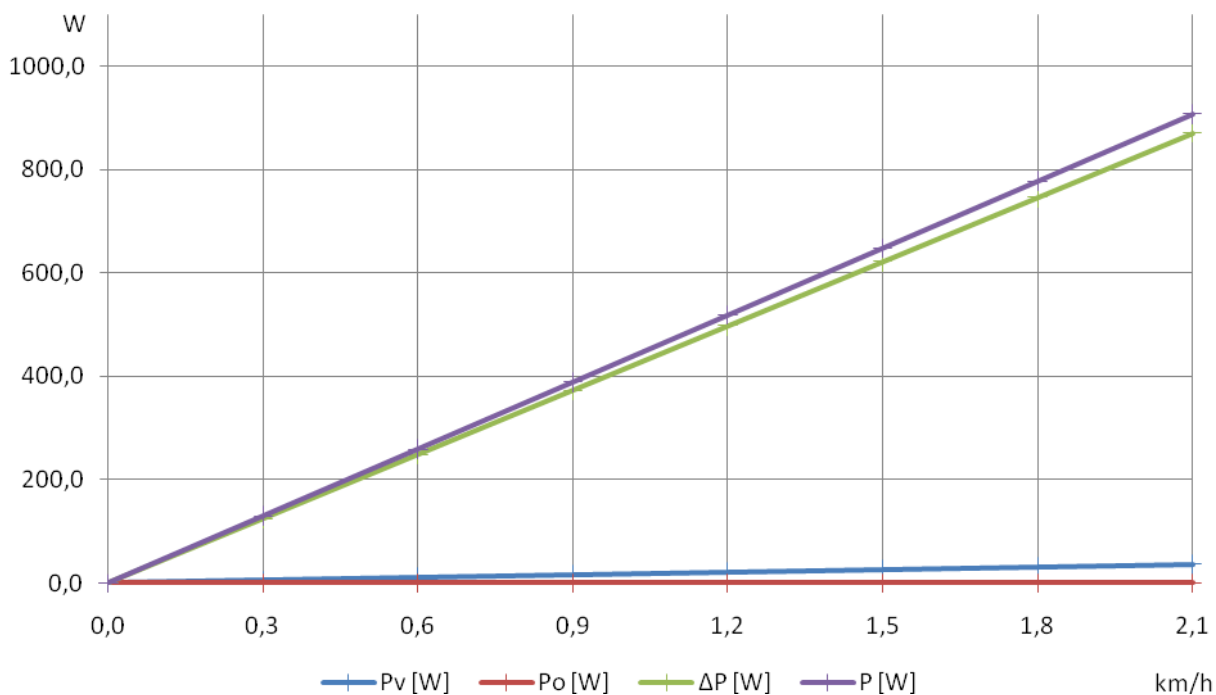
f) Shrnutí

Jak ukazuje Obrázek 2.1 je potřebný mechanický výkon dán též součtem ztrát vzniklý valivým třením, odporem vzduchu a přírůstkem výkonu potřebného ke zrychlení. Ztráty odporem vzduchu rostou s třetí mocninou rychlosti. Při rychlosti $v = 2,1$ km/h činí ztráty $P_o = 0,1$ W a můžeme je tudíž zanedbat. Ztráty valivým třením jsou už nezanedbatelné, při stejné rychlosti činí ztráty $P_v = 36,6$ W. Aby bylo možné dosáhnout zrychlení $a = 0,1166$ m/s² je zapotřebí přírůstek výkonu $\Delta P = 870,6$ W. Souhrn vypočteného potřebného výkonu a ztrát ukazuje Tabulka 2.2.

Vzhledem k vypočtené tažné síle vozu $F = 1555,5$ N by byl vůz schopen překonat i určitou velikost stoupání trati. Podle vztahu (1.2) by maximální stoupání bylo rovno 0,07%.

Tabulka 2.2 Souhrn potřebného výkonu a ztrát.

v [km/h]	P_s [W]	P_v [W]	P_o [W]	ΔP [W]	P [W]
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,3	0,0	5,2	0,0	124,4	129,6
0,6	0,0	10,5	0,0	248,7	259,2
0,9	0,0	15,7	0,0	373,1	388,8
1,2	0,0	20,9	0,0	497,5	518,4
1,5	0,0	26,2	0,0	621,9	648,1
1,8	0,0	31,4	0,1	746,2	777,7
2,1	0,0	36,6	0,1	870,6	907,4



Obrázek 2.1 Potřebný mechanický výkon P , ztráty třením P_v , ztráty odporem vzduchu P_o a výkon potřebný ke zrychlení ΔP .

3 MOMENTOVĚ-OTÁČKOVÁ (RESP. VÝKONOVĚ-OTÁČKOVÁ) CHARAKTERISTIKA

Abychom mohli vytvořit momentově-otáčkovou, a výkonově-otáčkovou charakteristiku musíme nejprve převést všechny potřebné veličiny pro lineární pohyb na veličiny pro pohyb rotační. Vztah mezi rychlostí a otáčkami kola je roven:

$$n = \frac{60 \cdot v}{o} = \frac{60v}{\pi D}. \quad (3.1)$$

Kde n představuje počet otáček za minutu, o obvod kola vozu, $\pi = 3,14$ Ludolfovo číslo a D je průměr kola.

Přepočet tažné síly na moment je vyjádřen vztahem:

$$M = F \cdot R. \quad (3.2)$$

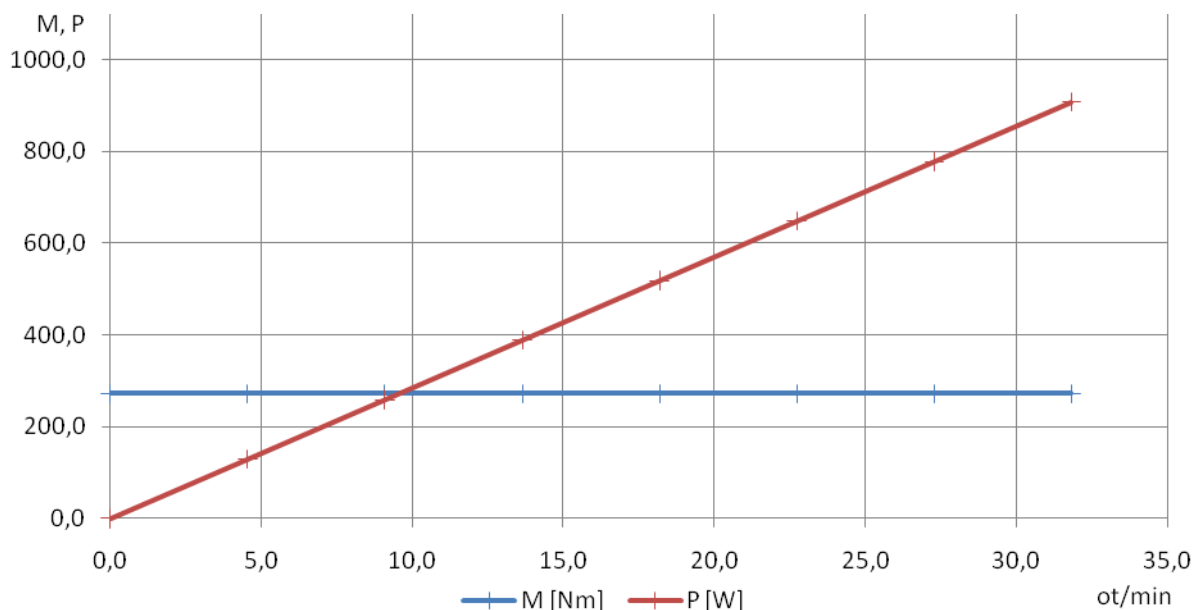
Výkon je roven součinu momentu a úhlové rychlosti otáčení:

$$P = M \cdot \omega = M \frac{2\pi n}{60}. \quad (3.3)$$

Souhrn výpočtů momentově-otáčkové a výkonově-otáčkové charakteristiky ukazuje Tabulka 3.1 a Obrázek 3.1.

Tabulka 3.1 Momentově-otáčková a výkonově-otáčková charakteristika

v [km/h]	n [ot/min]	M [Nm]	ω [rad/s]	P [W]
0,0	0,0	272,2	0,0	0,0
0,3	4,5	272,2	0,5	129,6
0,6	9,1	272,2	1,0	259,2
0,9	13,6	272,2	1,4	388,8
1,2	18,2	272,2	1,9	518,4
1,5	22,7	272,2	2,4	648,1
1,8	27,3	272,2	2,9	777,7
2,1	31,8	272,2	3,3	907,4



Obrázek 3.1 Momentově-otáčková a výkonově-otáčková charakteristika.

Jak je vidět na Obrázek 3.1 je požadován konstantní maximální moment 272,2 Nm při rostoucích otáčkách a to odpovídá tažné síle 1555,5 N. Je-li konstantní moment a rostou-li otáčky, roste i výkon přímo úměrně otáčkám. Aby bylo možné dosáhnout maximální rychlosti 2,1 km/h za 5 s je zapotřebí výkonu 907,4 W.

4 POHONY V TRAKCI

Pro použití motoru ve voze přichází v úvahu stejnosměrný stroj s permanentními magnety, synchronní stroj s permanentními magnety a asynchronní stroj s kotvou nakrátko.

4.1 Stejnosměrný motor s permanentními magnety

Výhodou v použití tohoto motoru je dobrý poměr jmenovitého momentu k hmotnosti, který je dán buzením permanentními magnety. Dále vysoká účinnost při jmenovitém momentu pracující s velkým výkonem a jednoduchý a levný DC/DC měnič umožňující bezeztrátovou regulaci otáček nebo momentu, řádově je jednodušší i hardwarové řešení řídicí elektroniky a také samotný řídicí algoritmus než je tomu u synchronního nebo asynchronního stroje.

Nevýhodou jsou neodstranitelné vířivé a hysterezní ztráty v magnetickém obvodu při vysokých otáčkách. Největší nevýhodou je komutátor, na kterém vznikají ztráty třením. Značné ztráty třením vznikají u motorů s malým napětím, což vede k velkému proudu kotvou motoru a to vyžaduje použití masivních kartáčů s velkým přtlakem. Ztráty vzniklé třením komutátoru jsou přímo úměrné otáčkám. Odlehčíme-li motor při zachování otáček, poklesne moment, tím se projeví více brzdny moment při tření komutátoru a klesá účinnost motoru.

Z důvodu provozu motoru na nízké hladině napětí a komutátoru, na kterém vzniká tření, je poruchový a vyžaduje údržbu, není vhodné použít tento stroj. Jsme-li smířeni s použitím složitějšího měniče, pak tedy použijeme bezkartáčový stroj, který nemá komutátor, tím nám odpadnou jakékoli ztráty třením. V úvahu tak připadají synchronní stroj s permanentními magnety nebo asynchronní stroj s kotvou nakrátko.

4.2 Synchronní stroj s permanentními magnety

Výhodou synchronního stroje s permanentními magnety je skvělý poměr jmenovitého momentu k hmotnosti. V režimu s velkým momentem vysoká účinnost a to že jde o bezkartáčový stroj.

Nevýhodou je problematické odbuzení stroje. Aby mohl být stroj co nejmenší, je při konstrukci potlačen vliv statorového reakčního pole. Dále při vysokých otáčkách dosahuje napětí vysokých hodnot, neboť platí přímá úměra mezi otáčkami a velikostí indukovaného napětí. Složitý DC/AC střídač obvykle vyžaduje čidlo polohy rotoru a jako další nevýhodou jsou technologické problémy s upevněním magnetů na rotor. Podobně jako u stejnosměrného stroje s permanentními magnety jsou neodstranitelné hysterezní a vířivé ztráty. Hysterezní ztráty rostou přímo úměrně otáčkám a vířivé rostou s kvadrátem otáček, proto je třeba volit maximální otáčky takové, aby nezpůsobovaly příliš velké hysterezní a vířivé ztráty. Aby bylo možné zcela odstranit tyto ztráty, je třeba realizovat stroj se vzduchovým statorem [9]. Takovéto řešení je ale drahé a technologicky velice náročné.

Při realizaci tohoto pohonu je vhodné volit větší moment a menší otáčky, lze tak dosáhnout nejmenší hmotnosti pohonu a při provozu se jmenovitým momentem můžeme dosáhnout výborné účinnosti. Ovšem v kombinaci s malým momentem a velkými otáčkami účinnost poklesne vlivem vířivých a hysterezních ztrát. Pokles účinnosti ale nebude tak dramatický jako u motoru stejnosměrného s permanentními magnety, neboť odpadají ztráty vzniklé třením komutátoru.

4.3 Asynchronní stroj s kotvou nakrátko

Výhodou asynchronního stroje s kotvou nakrátko je to, že jde opět o bezkartáčový stroj. Jeho výroba je méně technologicky náročná a je levnější oproti synchronnímu stroji s permanentními magnety, protože odpadá problematická fixace permanentních magnetů na rotor. Rovněž odpadají problémy s indukovaným napětím a omezení hysterezních a vířivých ztrát ve statoru odbuzením ve vyšších otáčkách.

Nevýhodou je buzení ze statoru což má za následek přídavné ztráty ve vinutí a zatížení DC/AC střídače magnetizačním proudem. Poměr momentu k hmotnosti je asi 3 až 5 krát menší [9].

Poměr momentu k hmotnosti lze zmírnit volbou malého momentu a velkých otáček. Otáčky mohou být 2 až 3 krát větší než u synchronního stroje s permanentními magnety. Buzení ze statoru nám dává možnost motor odbudit ve vysokých otáčkách, tím nám klesne moment stroje, ale i vířivé a hysterezní ztráty oproti synchronnímu stroji s permanentními magnety. Nevýhodou je ovšem horší účinnost při jmenovitém momentu a jmenovitých otáčkách než u synchronního stroje z důvodu buzení ze statoru, které představuje nezanedbatelné ohmické ztráty průchodem magnetizačního proudu na odpor statorového vinutí.

4.4 Shrnutí

Značná nevýhoda komutátoru, na kterém vznikají nezanedbatelné ztráty třením, stejnosměrného stroje s permanentními magnety a požadavku provozu motoru na nízké hladině napětí připadá v úvahu použít bezkartáčový stroj, který je bezúdržbový a má delší životnost. Je tedy vhodné použít buď synchronní stroj s permanentními magnety, nebo asynchronní stroj s kotvou nakrátko.

Pohon se synchronním strojem s permanentními magnety, i přes jmenované nevýhody, je velmi vhodným řešením. U tohoto motoru lze dosáhnout nejmenší hmotnosti a při velkém momentu a nízkých rychlostech výborné účinnosti. Ovšem cena motoru je na rozdíl od asynchronního motoru čtyřikrát větší.

Námi vybraný pohon pro náš kolejový vůz bude s asynchronním motorem s kotvou nakrátko. Výroba tohoto motoru je méně technologicky náročná a tudíž levnější než u synchronního stroje s permanentními magnety. Nejlepší účinnosti dosáhneme při vysokých rychlostech a menším momentu.

5 MOTOR S PEVNÝM PŘEVODEM PŘEVODOVKY

Volba vhodného převodového poměru má velký vliv na hmotnost celého pohonu, protože hmotnost motoru je přímo úměrná jeho jmenovitému momentu, nikoli výkonu (to platí obecně pro všechny elektromotory). Výkon lze měnit změnou otáček, což vede k nutnosti změny napětí motoru, ne však ke změně jeho velikosti (hmotnosti). Hmotnost převodovky bude vždy i při velkém převodovém poměru několikanásobně menší než v případě požití motoru bez převodovky s velkým jmenovitým momentem. V případě snahy o co nejmenší hmotnost je tedy kombinace motoru s převodovkou vždy přínosem [4].

Základními požadavky na systém elektrického motoru s převodovkou jsou maximální účinnost v širokém rozsahu momentu a otáček, co nejmenší rozměry a hmotnost při požadované momentově-otáčkové charakteristice. Těmato dvěma požadavky musí být podřízena volba převodového poměru převodovky a jmenovitého momentu motoru [4].

Uvažujeme-li potřebnou momentově-otáčkovou charakteristiku podle Obrázek 3.1, musí stanovený převod zajistit shodný jmenovitý moment motoru s maximálním požadovaným momentem na ose kola. Chceme-li dosáhnout co nejmenší hmotnosti motoru, požadujeme co nejmenší jmenovitý moment, což vede k použití velkého převodového poměru „do síly“. Takový to pohon pak bude mít dobrou účinnost v nízkých rychlostech. Ve vysokých rychlostech se projeví nevýhoda velkého převodového stupně, kdy se budou těžce realizovat vysoké otáčky motoru. S rostoucími otáčkami poroste také hluk převodovky a motoru.

6 NÁVRH POHONU S ASYNCHRONNÍM MOTOREM S KOTVOU NAKRÁTKO

Počet pólů motoru volíme kompromisem mezi, co nejlepším poměrem momentu k hmotnosti, tedy co nejlépe využít magnetický obvod z čehož plyne co nejvíce pólů nebo co nejmenší hysterezní a vířivé ztráty ve statoru, tedy co nejmenším kmitočtem z čehož plyne co nejmeně pólů. Optimálním řešením a na základě zkušeností je tedy vhodné použít čtyřpólový stroj.

Pro náš vůz jsme vybrali motor značky CANTONI MOTOR od výrobce INDUKTA s. a. s typovým označením Sh 90L-4. Jde o čtyřpólový stroj ($2p = 4$) s hmotností 16,5 kg. Motor má jmenovitý moment $M_N = 10,2 \text{ Nm}$ a je provozován na standardním síťovém kmitočtu $f_l = 50 \text{ Hz}$. Jmenovitému momentu odpovídají jmenovité otáčky $n_N = 1410 \text{ ot/min}$, jmenovitý výkon motoru $P_{2N} = 1,5 \text{ kW}$.



Obrázek 6.1 Asynchronní motor s kotvou nakrátko s typovým označením Sh 90L-4.

Použitá čelní převodovka s účinností $\eta_P = 0,95$ bude mít převod daný poměrem maximálního požadovaného momentu M ke jmenovitému momentu motoru M_N .

$$i = \frac{M}{M_N} = \frac{272,2}{10,2} = 26,69 \doteq 28. \quad (6.1)$$

Naše otáčky kola vozu rovny 31,8 ot/min odpovídají maximální rychlosti vozu 2,1 km/h. Při daném převodovém poměru tomu odpovídají maximální otáčky motoru 891,3 ot/min.

Moment zvratu motoru M_{zvr} tedy moment motoru, který nesmíme překročit je roven:

$$\frac{M_{zvr}}{M_N} = 2,8 \Rightarrow M_{zvr} = 2,8 \cdot M_N = 2,8 \cdot 10,2 = 28,56 \text{ Nm}. \quad (6.2)$$

Z toho plyne, že motor můžeme krátkodobě přetížit větším momentem cca $M_{max} = 25 \text{ Nm}$, ne však větším než je moment zvratu $M_{zvr} = 28,56 \text{ Nm}$. Přetížení motoru nám dává možnost krátkodobě motor využít maximálním momentem, např. přepravě těžších břemen než je povolena nosnost, či dovolit rychleji akcelarovat na požadovanou rychlost vozu. Také by se přetížení motoru mohlo využít k překonání většího stoupání trati. Dává-li motor v přetíženém stavu moment cca $M_{max} = 25 \text{ Nm}$, je možné dosáhnout výkonu:

$$P_{2S} = M_{max} \cdot \omega = M_{max} \cdot \frac{2\pi n_N}{60} = 25 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1410}{60} = 3,69 \text{ kW}. \quad (6.3)$$

K dosažení takového výkonu na hřídeli hnacího kola vozu jsme ovšem omezeni účinnosti převodovky. S účinností použité čelní převodovky $\eta_P = 0,95$ bude výkon v přetíženém stavu roven:

$$P_{2S} = M_{max} \cdot \omega \cdot \eta_P = M_{max} \cdot \frac{2\pi n_N}{60} \cdot \eta_P = 25 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1410}{60} \cdot 0,95 = 3,5 \text{ kW}. \quad (6.4)$$

Toto je maximální výkon, který můžeme krátkodobě využít ke zmíněnému přetěžování vozu. Souhrn momentů a výkonů motoru Sh 90L-4 ukazuje

Tabulka 6.1.

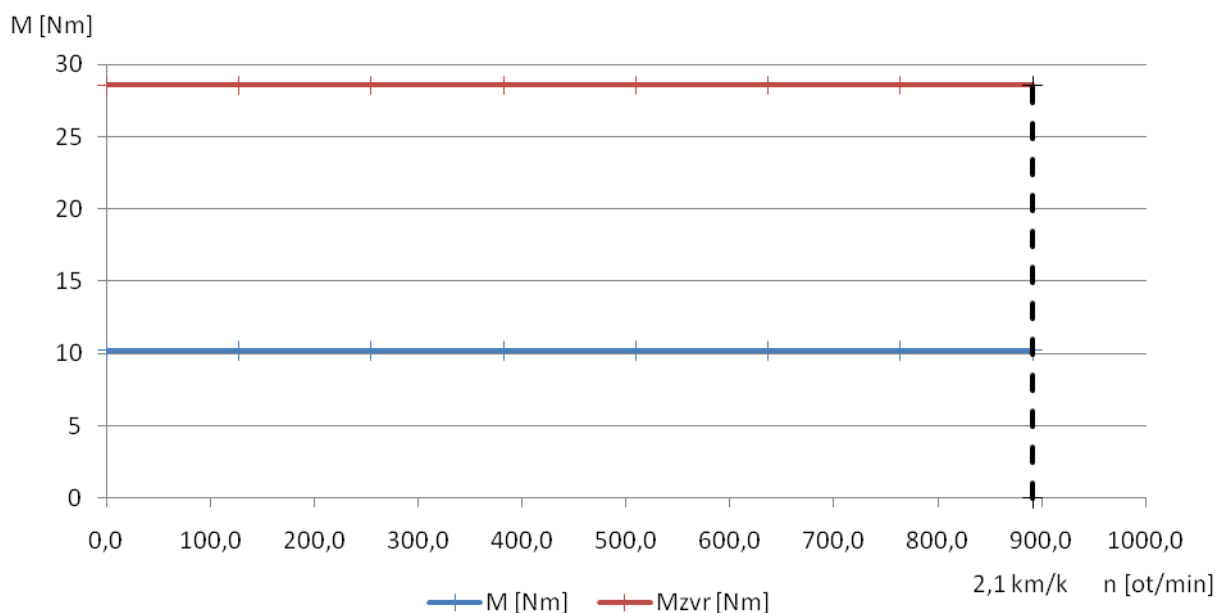
Tabulka 6.1 Souhrn momentů a výkonů motoru Sh 90L-4.

Momentová přetížitelnost $\frac{M_{zvr}}{M_N}$	2,8
Požadovaný moment M	272,2 Nm
Jmenovitý moment motoru M_N	10,2 Nm
Moment zvratu motoru M_{zvr}	28,56 Nm
Maximální moment motoru	25 Nm
Požadovaný mechanický výkon P	907,4 W
Jmenovitý výkon motoru P_{2N}	1500 W
Výkon v přesyceném stavu motoru P_{2S}	3690 W
Výkon v přesyceném stavu motoru na hřídeli hnacího kola P_{2S}	3500 W

Na Obrázek 6.2 a Tabulka 6.2 je znázorněna momentově-otáčková charakteristika motoru vozu. Modrou čarou je znázorněn potřebný moment motoru k dosažení maximální rychlosti vozu. Červenou čarou je znázorněn moment zvratu motoru.

Tabulka 6.2 Momentově-otáčková charakteristika motoru vozu.

v [km/h]	n [ot/min]	M [Nm]	M _{zvr} [Nm]
0,0	0,0	10,2	28,56
0,3	127,3	10,2	28,56
0,6	254,6	10,2	28,56
0,9	382,0	10,2	28,56
1,2	509,3	10,2	28,56
1,5	636,6	10,2	28,56
1,8	763,9	10,2	28,56
2,1	891,3	10,2	28,56



Obrázek 6.2 Momentově-otáčková charakteristika motoru vozu.

7 KONCEPCE POHONU A JEHO REALIZACE

Jak ukazuje Obrázek 7.1, celý pohon vozu se skládá ze čtyř základních bloků. Síťové nabíječky, pomocí které se dobíjí akumulátor, akumulátoru jako zdroje elektrické energie pohonu, DC/AC měniče, který mění stejnosměrné napětí baterie na střídavé napětí a motoru jako prvku měnící elektrickou energii na mechanickou pro pohyb vozidla.



Obrázek 7.1 Blokové schéma pohonu vozidla.

7.1 Motor s převodovkou

Motor je napájen z akumulátorové baterie a ovládán z frekvenčního měniče, který zajišťuje plynulý rozjezd a brzdění vozu.

Pro naše vozidlo byl vybrán motor značky CANTONI MOTOR od výrobce INDUKTA s. a. s typovým označením Sh 90L-4. V kapitole 6 jsme odvodili jeho momentově-otáčkovou charakteristiku. Na Obrázek 6.1 je vyobrazen použitý motor.

Pro naše vozidlo bude použita čelní převodovka s pevným převodem. V kapitole 6 jsme odvodili potřebnou velikost převodového poměru 28:1.

7.2 Trojfázový trakční měnič

Rozjezd vozu je řízen plynule pomocí trakčního měniče, který zajišťuje maximální stabilitu převáženého břemene v přechodových provozních stavech tj. plynulý rozjezd a brzdění

Abychom mohli využít energii z akumulátoru a napájet z něj náš střídavý indukční motor, je nezbytné nejprve stejnosměrnou energii z akumulátoru převést na střídavou energii. Střídavé napětí potřebné k pohánění motoru dostaneme transformací stejnosměrného napětí v měniči. V této práci se nebudeme zabývat návrhem trakčního měniče, ale pouze výběrem vhodné varianty již vyráběných měničů pro naše vozidlo.

Abychom mohli vybrat vhodný typ měniče, musíme nejprve určit hodnotu požadovaného maximálního proudu motoru. Podle tohoto proudu se odvíjí maximální velikosti proudů procházející výkonovými součástkami uvnitř měniče.

Velikost efektivní hodnoty fázového proudu motoru $I_{N(ef)}$ je dána vztahem

$$I_{N(ef)} = \frac{P_{2N}}{\sqrt{3}U_N \cdot \cos \varphi \cdot \eta_M} = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 48 \cdot 0,78 \cdot 0,79} = 29,3A. \quad (7.1)$$

Amplituda $I_{(max)}$ je pak o odmocninu ze dvou větší

$$I_{(max)} = \sqrt{2} \cdot I_{N(ef)} = \sqrt{2} \cdot 29,3 = 41,4A. \quad (7.2)$$

Záběrný proud motoru I_l , kterým bude měnič přetěžován je dán součinem poměrného záběrného proudu motoru a jmenovitého proudu $I_{N(ef)}$

$$\frac{I_l}{I_N} = 5,3 \Rightarrow I_l = 5,3 \cdot I_{N(ef)} = 5,3 \cdot 29,3 = 155,3A. \quad (7.3)$$

Tím i záběrný moment motoru M_l je dán součinem poměrného záběrného momentu motoru a jmenovitého momentu motoru M_N

$$\frac{M_l}{M_N} = 2,5 \Rightarrow M_l = 2,5 \cdot M_N = 2,5 \cdot 10,2 = 25,5Nm. \quad (7.4)$$

Jako další důležitý parametr pro volbu vhodného měniče je velikost požadovaného maximálního příkonu motoru. Ten je potřebným parametrem pro dodávaný výkon použitého měniče.

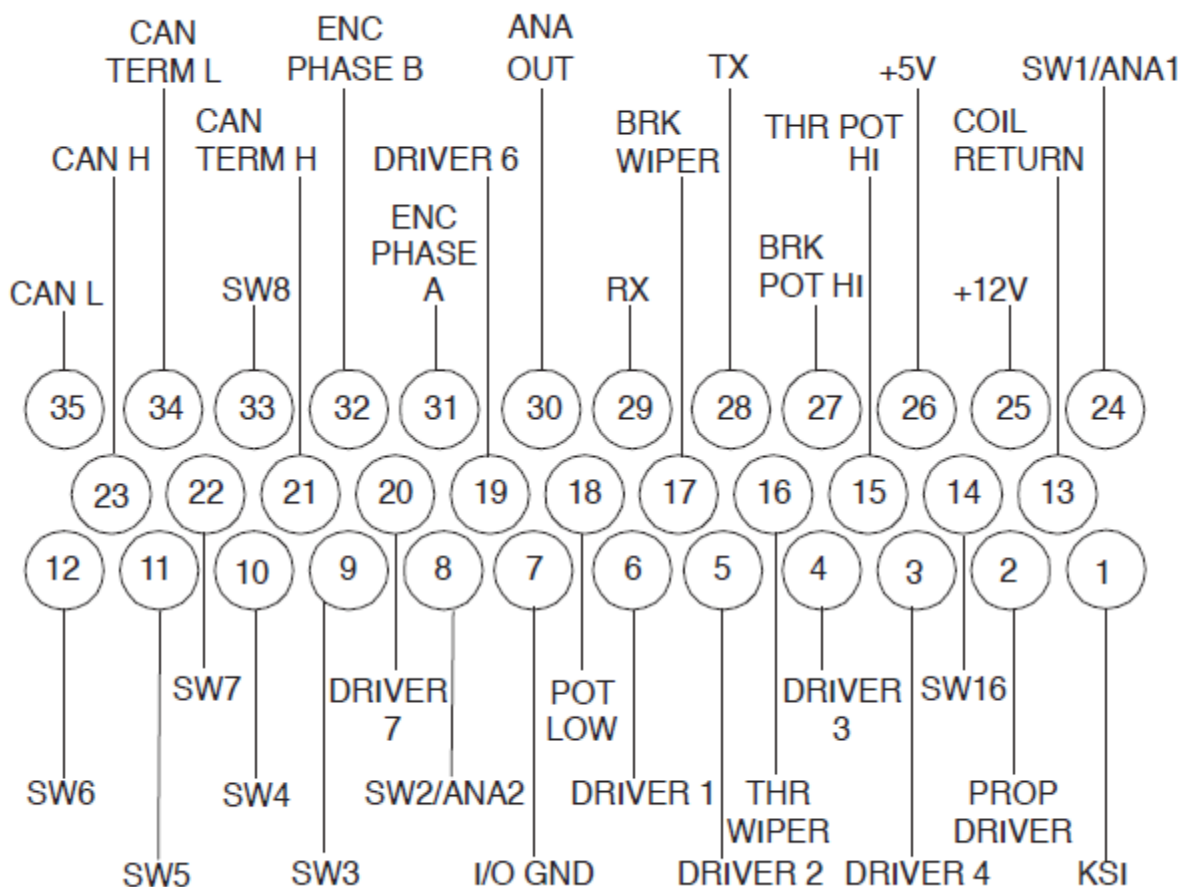
Jmenovitý příkon motoru P_{IN} je dán poměrem jmenovitého výkonu motoru P_{2N} a účinnosti motoru η_M

$$P_{IN} = \frac{P_{2N}}{\eta_M} = \frac{1500}{0,79} = 1898,7W. \quad (7.5)$$

Toto je potřebný maximální výkon, který musí měnič dodat k rozběhu motoru na jmenovité otáčky.

Pro naše vozidlo jsme vybrali trakční měnič od firmy CURTIS INSTRUMENTS, INC z modelové řady 1234. Curtis Model 1234-527X poskytuje pokročilé ovládání asynchronních motorů pro univerzální pohony zejména v trakčních vozidlech. Provozní napětí tohoto měniče je v rozsahu 36-48 V, frekvence na statoru motoru v rozsahu 0-300Hz. K dispozici je jmenovité dvouminutové proudové zatížení 275 A, vlastní spotřeba měniče je 323 W. Z pohledu požadovaných parametrů je ale vidět, že vlastní spotřeba bude daleko menší. Je to z toho důvodu, že měnič je předimenzovaný, protože se výkonově menší nedělají. Na Obrázek 7.3 je znázorněn měnič Curtis Model 1234 a na Obrázek 7.4 jsou uvedeny jeho rozměry v milimetrech, hodnoty v závorkách jsou uváděny v palcích.

Silovou část měniče tvoří svorky B+, B- U, V a W. Na svorky měniče B+ a B- připojíme akumulátorovou baterii G1. Kabely pro připojení baterie k měniči by měly být z vysoce kvalitní mědi a měly by být vedeny blízko u sebe. Na svorky U, V, W připojíme motor M1. Kabely pro připojení motoru k měniči by měly být opět z vysoce kvalitní mědi a měly by být svázaný dohromady. Délka kabelů by měla být co nejkratší.



Obrázek 7.2 Zapojení konektoru měniče Curtis Model 1234.

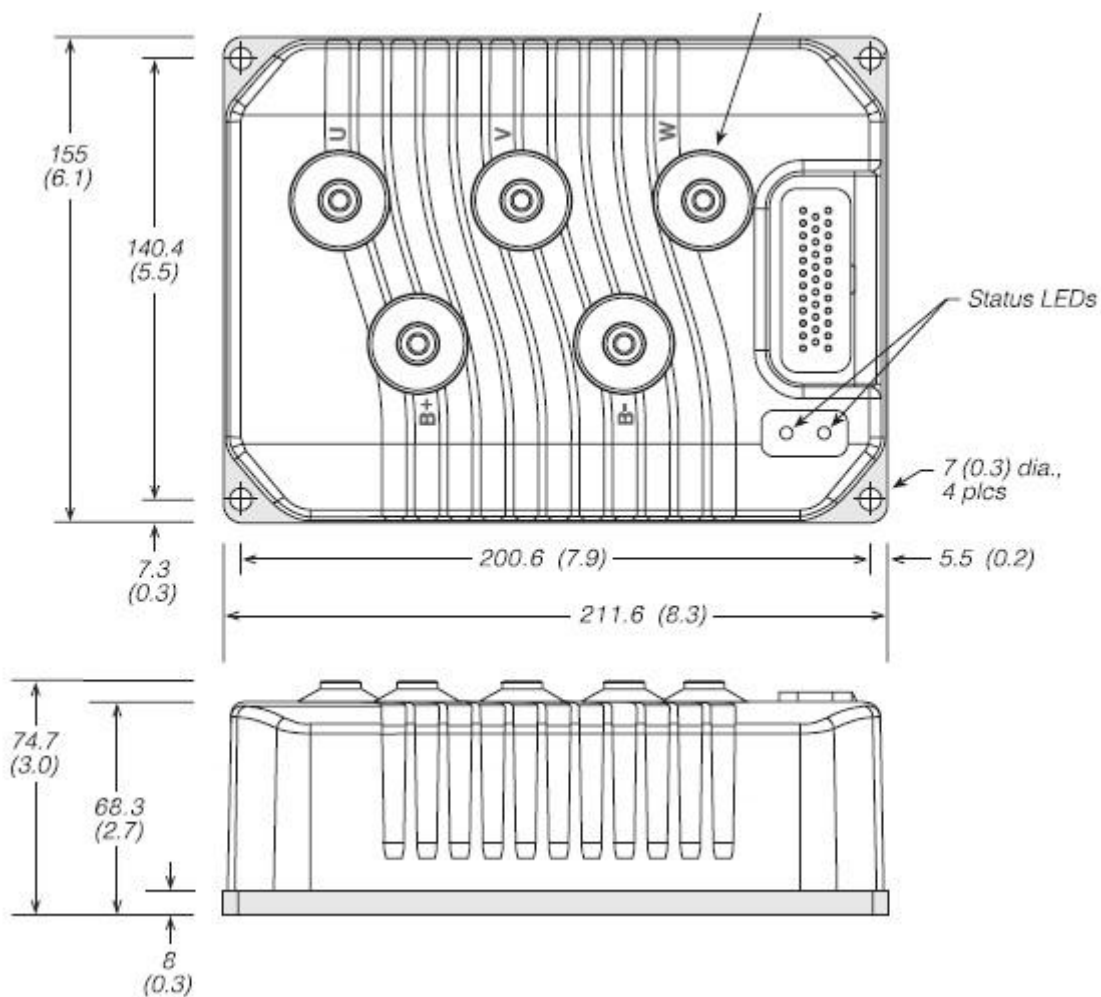
Ovládací část měniče je tvořena 35 pinovým konektorem. Jednotlivé potřebné piny konektoru propojíme pomocí vodičů. Pin 1 označený J1-1 nazvaný KSI slouží pro napájení řídicí logiky měniče. Měnič je napájen přímo napětím baterie 48 V. Piny 22, 33, 10, 11, 12 slouží jako přepínače pro pákový ovládač, kterým volíme směr a rychlost jízdy. Pin 22 označený J1-22 slouží jako přepínač pohybu vpřed. Pin 33 označený J1-33 slouží jako přepínač pohybu vzad. Piny 10, 11, 12 označovány J1-10, J1-11, J1-12 jsou určeny jako přepínače pro volbu rychlosti 1, 2 a 3 na pákovém ovládači, kde rychlost 3 je maximální rychlost vozu 2,1 km/h. Pin 6 označený J1-6 slouží jako digitální vstup a je použit pro hlavní stykače KM1 a KM2. Pin 5 označený J1-5 slouží opět jako digitální vstup a je použit pro elektromagnetickou brzdu stykače KM3. Pin 19 označený J1-19 je buď jako digitální vstup nebo jako digitální výstup a je použit pro blikající relé KA3. Pin 13 označený J1-13 slouží jako návratový pin a je použit pro návrat od hlavních stykačů KM1 a KM2, od brzdy KM3 a blikacího relé KA3. Pin 8 označený J1-8 je určený jako analogový vstup a je použit pro snímač teploty motoru RT. Pin 7 označený jako J1-7 slouží jako vstupní nebo výstupní zem a je použit pro zem od snímače teploty motoru RT.

Tabulka 7.1 Souhrn požadovaných napěťových, proudových a výkonových parametrů a parametrů měniče.

Jmenovité napětí motoru	48 V
Provozní napětí měniče	36-48 V
Poměrný záběrný proud motoru $\frac{I_1}{I_N}$	5,3
Jmenovitý proud motoru I_N	29,3 A
Maximální proud motoru $I_{(max)}$	41,4 A
Záběrný proud motoru I_1	155,3 A
Dvouminutový jmenovitý proud měniče	275 A
Maximální příkon motoru P_{IN}	1898,7 W



Obrázek 7.3 Měnič Curtis Model 1234.



Obrázek 7.4 Rozměry měniče Curtis Model 1234 v milimetrech (v palcích).

7.3 Akumulátor

Akumulátorová baterie je zdrojem elektrické energie vozidla. Pro naše vozidlo je vyžadováno napětí 48 V, takto nízká hladina napětí je vyžadována z formální bezpečnosti před úrazem elektrickým proudem. Pro akumulátor je vyhrazena zastavěná plocha pod podlahou vozidla o rozměrech 1000x1000x600 mm. Podle předpokládané doby jednosměnného provozu v podniku je vyžadovaná doba provozu vozidla při jmenovitém zatížení osm hodin. Podle této doby, 8 hodin, při jmenovitém proudu motoru $I_N = 29,3$ A je požadovaná kapacita baterie 240 Ah.

Typu akumulátorů existuje celá řada. Pro náš vůz budeme volit ze dvou typů akumulátorů. První z nich jsou články Li-Fe-Po. Jedná se o velice moderní typ článků na bázi Li-Ion. Ve srovnání s klasickými Li-Ion akumulátory mají 10 krát menší vnitřní odpor, díky čemuž jsou schopny pojmout nebo dodat vyšší maximální nabíjecí (10 A) a vybíjecí (70 A) proud. Těchto výsledků bylo dosaženo použitím speciálního nanofosfátu. Ve srovnání s klasickými Li-Ion akumulátory mají i několikanásobnou životnost. Všechny tyto výhody jsou vykoupeny o něco vyšší hmotností. Dá se říci, že tyto parametry předurčují použití akumulátorů v hybridních automobilech nebo elektromobilech, kde využijeme především jejich schopnost rychle akumulovat nebo dodávat velké proudy, [10],[4].

Články se vyrábějí jako samostatné články typu 26650EV, tzn. průměr 26 mm, výška 65 mm. Výrobce těchto článků je firma K2 ENERGY. Parametry článku 26650EV ukazuje

Tabulka 7.2.



Obrázek 7.5 Články Li-Fe-Po typu 26650EV.

Tabulka 7.2 Parametry článku 26650EV.

Nominální kapacita	3,2 Ah
Nominální napětí	2,7 V
Vnitřní odpor	15 mΩ
Hmotnost	82 ± 2 g
Počet cyklů	více než 1000
Pracovní rozsah teplot	-30 °C +60°C
Rozsah teploty při skladování	-50 °C +60°C

Trakční baterie pro naše vozidlo je realizována sérioparalelním řazením 1350 článků. Pro dosažení požadovaného napětí je spojeno 18 článků do série a 75 článků paralelně pro dosažení požadované kapacity. Výsledná sestava má 48,6 V a kapacitu 240 Ah. Aby se nám sestava vešla do vyhrazeného prostoru, zapojíme vždy 18 článků do série a 25 článků paralelně, takto vytvořený set nakupíme ve třech vrstvách nad sebe. Zanedbáme-li rozměry pospojování mezi články, výsledná sestava bude mít rozměry 472x655x195 mm a hmotnost 110,7 kg.

Vzhledem k technologickým problémům při samotné výrobě, jako například kontaktování samotných článků, jejich ceně, dostupnosti a náročnosti při realizaci akupacku z článků Li-Fe-Po se pro náš vůz bude volit akupack z dostupnějších a často používanějších článků jako je například trakční baterie uvedena níže.

Druhým typem akumulátoru je trakční olověná baterie Hawker Water Less, typ 4 PzM 240 od firmy HAWKER. Jedná se o baterii s tekutým elektrolytem. Kladné elektrody jsou trubkové pancéřové desky, moderní komponenty použité v jejich výrobě poskytují zvýšenou účinnost. Záporné desky jsou pancéřové ploché pastované. Separátor je mikroporézního typu. Tyto technologie zaručují větší kapacitu elektrolytu a menší intervaly v doplňování vody. Baterie je vybavena centrálním doplňováním elektrolytu. Dále je ofukována proudem vzduchu z ofuku, který umožňuje dobíjení baterie. Slouží k ředění koncentrace nebezpečných par vznikajících nad baterií při provozu a nabíjení. Ofuk se skládá z vodícího potrubí a ventilátoru.

Tabulka 7.3 Parametry trakční baterie Water Less 4 PzM 240.

Nominální kapacita	240 Ah
Nominální napětí (jeden článek)	24 V (2 V)
Minimální přípustné napětí	20,4 V
Plynovací napětí	28,8 V
Maximální napětí nabíjení	34,2 V
Jmenovitá hustota elektrolytu jednoho článku	1,29 kg.l ⁻¹
Minimální hustota elektrolytu jednoho článku	1,14 kg.l ⁻¹
Počet nabíjecích cyklů při zůstatku 80% jmenovité kapacity	1500
Pracovní rozsah teplot	-30 °C +55°C
Rozměr skříně	621x353x402 mm
Hmotnost	184,8 kg

Tato baterie je realizována 12 články zapojených v sérii. Celý tento set je od výroby sestaven do jednoho celku. Abychom dosáhli požadovaného napětí 48 V, musíme zapojit 2 tyto sety do série. Výsledná sestava má potom požadované napětí 48 V a kapacitu 240 Ah o rozměrech 780x706x402mm a hmotnosti 369,6 kg.

Pro optimální životnost se musí předcházet provoznímu vybití vyššímu než 80 % jmenovité kapacity (hluboké vybití). Při nabíjení se teplota baterie a elektrolytu musí pohybovat v rozmezí 10 °C až 45 °C, jinak se nedosáhne řádného nabití. Při nabíjení vzroste teplota přibližně o 10 °C a je nutné s tím počítat. Nabíjení se považuje za ukončené, když hustota elektrolytu a napětí baterie zůstane po 2 hodiny konstantní. Teplota elektrolytu 30 °C se označuje jako jmenovitá. Vyšší teploty zkracují životnost, nižší dostupnou kapacitu. Během dobíjení baterie dochází k promíchávání elektrolytu, což zajišťuje rovnoměrné nabíjení a zároveň urychluje nabíjecí proces. Promíchávání elektrolytu je plně automatické, ovládané nabíječkou. Promíchávání elektrolytu také umožňuje přerušované nabíjení baterie, ale doporučuje se nabíjet minimálně několik hodin (minimálně se doporučuje 4 hodiny). Baterie musí být doplněna destilovanou vodou a to minimálně po 200 nabíjecích cyklech nebo po 6 měsících. Pro zvýšení životnosti baterie se doporučuje tuto dobu nepřekračovat, uváděno v návodu k použití, [11].

7.4 Nabíjecí stanice

Nabíjecí stanice slouží pro dobíjení akumulátorové baterie, je-li připojena k externímu elektrickému zdroji pomocí kabelu. Pro náš akupack 4 PzM 240 je vhodným type nabíječka Hawker Lifetech XFC FLEX s typovým označením TC1 LT 48V 30A o rozměrech 281x186x377 mm. Jde o vysokofrekvenční nabíječ tzv. spínaný zdroj. Technické parametry nabíječky ukazuje Tabulka 7.4.

Doba nabíjení akumulátoru vybitého z 80 % a teploty elektrolytu 30°C je standardně 3,5 h. Je-li akumulátor vybit z 60 %, je doba nabíjení 2 h. Je-li přiinstalován ofuk umožňující oběh vzduchu nad baterií, je doba nabíjení kratší.

Tabulka 7.4 Technické parametry nabíječky TCP1 LT 48V 30A.

Napájení	230 V \pm 10 %
Frekvence	50/60 Hz
Jmenovitý vstupní proud/fáze	9 A
Napájecí přívod	3x1,5 mm ²
Vstupní pojistka	20 A
Nabíjecí kábel	10 mm ²
Délka nabíjecího kabelu	od 1 do 10 m
Třída ochrany IP	IP 21
Provozní rozsah teplot	0°C +40°C
Hmotnost	10 kg
Displej	LED

Nabíjení je nutné započíst nejpozději ve chvíli, kdy svítí LED dioda na nabíječce (indikátor stavu baterie). Při nabíjení není nutné odkrývat baterii. Nabíječka je součástí vozu a je umístěna na pracovišti obsluhy. Dobíjení akumulátorových baterií musí být prováděno při parkování vozu. Před začátkem nabíjení je třeba vypnout hlavní vypínač vozu (ve schránce kabelu nabíječky) a napojit zásuvku 20 A u nabíječky na přívod proudu. Dále obsluha zapne nabíjecí stanici a tím spustí nabíjecí proces. Po zapnutí nabíjení dojde k automatickému vyřazení chodu vozu. Současně se zapíná ofuk baterie. Dojde-li k poruše ofuku, nabíjecí proces je automaticky zastaven. Zastaví-li se nabíjecí proces vlivem poruchy, je nutné kontaktovat výrobce. Nabíjecí proces je ukončen tak, že svítí LED diody značky nabito na nabíječce baterie a nabíjecí stanice vypne. Po rozpojení kabelu nabíjení s přívodem elektrické energie nastartuje vůz stejně jako při uvedení do provozu, [8] upraveno autorem.

Při nabíjení se musejí dodržovat, uváděno v návodu k použití [12]:

- Po doplnění kapaliny akumulátorových baterií musí být provedena vizuální kontrola čistoty baterií.
- Nabíjení akumulátorové baterie lze provádět pouze v účinně větraných prostorách, přičemž toto větrání v průběhu nabíjení nesmí být omezováno.
- Není dovoleno se přibližovat k akumulátorové baterii s otevřeným ohněm, hrozí nebezpečí exploze vlivem tvoření výbušných plynů.
- Není dovoleno opírat o akumulátorovou baterii jakékoliv kovové předměty, je třeba zabránit i pádu kovových předmětů na baterii, takto vyvolaný možný zkrat může způsobit explozi.
- Na akumulátorové baterii, nabíjecím zdroji nebo v jejich těsné blízkosti nesmí být snadno zápalné látky.

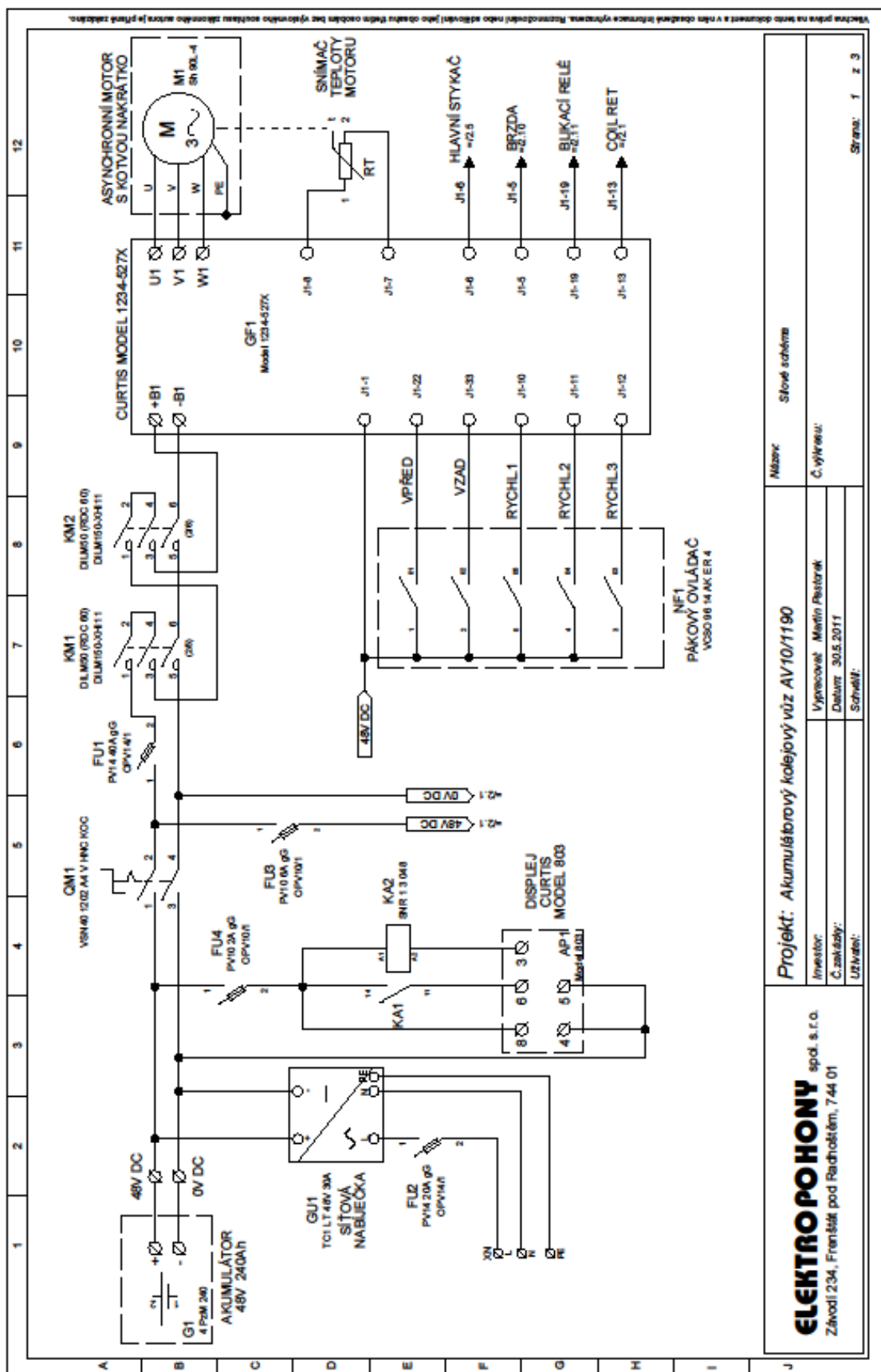
- Zvýšenou opatrností je třeba zabránit tomu, aby se kyselina z elektrolytu dostala do styku s pokožkou kterékoliv části těla pracovníka. Nepodaří-li se tomu zabránit, je nutné zasažená místa neprodleně omýt (vodou) a vyhledat pomoc lékaře.
- Není dovoleno nabíjet zmrzlou akumulátorovou baterii, ani nabíjení při teplotě pod 5 °C.
- Není dovoleno zakrývat ofuky.
- Před drobnou údržbou nebo čištěním nabíjecího zdroje je třeba provést jeho odpojení od elektrického obvodu.
- Nabíjecí zdroj a vůz se nesmí provozovat při poškození nabíjecího příslušenství (kabel, nabíjecí zásuvka, nabíječka, atd.).
- Po ukončení nabíjecího procesu se nesmí vůz zapnout minimálně 15 minut. Plyny vzniklé dobíjecím procesem musí být odvětrány.
- Teplota akumulátorových baterií musí být v rozmezí +10 °C do +45 °C před započetím nabíjecího procesu. Při nabíjení dojde k ohřátí akumulátorových baterií přibližně o 10 °C a je nutné s tím počítat.

8 OVLÁDÁNÍ A SPOUŠTĚNÍ VOZU

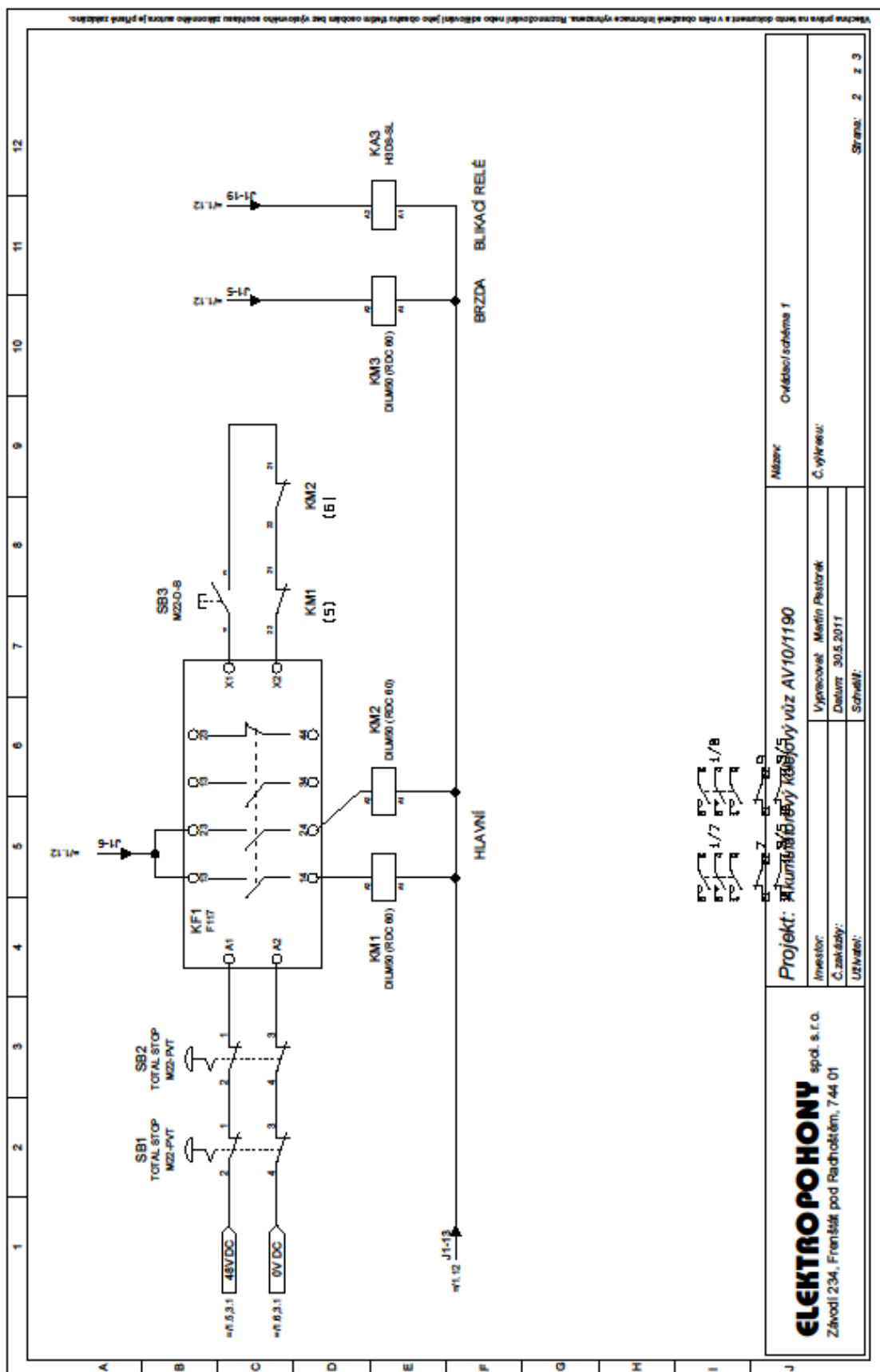
Ovládání zajišťuje pracovník pomocí ovládacího panelu v prostoru pro obsluhu, který je umístěn v protilehlých rozích vozu. Jak již bylo uvedeno v kapitole 7.1, rozjezd vozu je řízen plynule pomocí trakčního měniče, který zajišťuje maximální stabilitu převáženého břemene v přechodových provozních stavech. Provozní brzdění je plynule řízené. Při pohybu vpřed i vzad je obsluha povinná zajistit bezpečné zastavení vozu, [8] upraveno autorem.

Na rozvaděči se pákou zapne hlavní vypínač QM1. Zásuneme ovládací panel do zásuvky ovládání, vložíme klíč do zámkového spínače SA1, klíčem otočíme a nastartujeme vůz. Zároveň se rozsvítí pomocí relé KA1 ukazatel stavu baterie AP1. K sepnutí hlavních stykačů slouží tlačítko START SB3. Pákovým ovládačem NF1 se volí směr jízdy. Podle naklonění pákového ovládače se řídí rychlost vozu. Vůz má celkem čtyři rychlosti, kde maximální rychlost je v poloze sepnutých všech kontaktů pákového ovládače kromě jednoho určený k opačnému směru. Postupným vrácením páky do nulové polohy vůz elektronicky brzdí. Po úplném uvolnění páky, tj. v nulové poloze páky vůz automaticky zastaví povelom od brzdy KM3. Pro nouzové zastavení slouží tlačítko NOUZOVÉHO ZASTAVENÍ SB1, SB2. Tlačítko NOUZOVÉHO ZASTAVENÍ slouží k nouzovému zastavení vozu, nikoliv k běžnému užití. Bezpečnostní prvek KF1 hlídá, zda nedošlo k rozepnutí jednoho z tlačítek NOUZOVÉHO ZASTAVENÍ. Je-li stisknuto NOUZOVÉ ZASTAVENÍ, dojde k rozepnutí hlavních stykačů KM1, KM2, k sepnutí brzdy YB1 od stykače KM3 a vůz nelze spustit. Pohyb vozu je opticky signalizován pomocí LED světél HL2 až HL5 umístěných v rozích vozíku a akusticky signalizován pomocí houkačky HA2 sepnutým kontaktem od blikajícího relé KA3. Stav nabitého akumulátoru hlídá ukazatel AP1. Dojde-li k poklesu provozuschopnosti akumulátorové baterie, dojde k sepnutí kontaktu KA2 a k rozsvícení signalizace vybití HL1. V ten okamžik je nutné v co nejkratším čase baterii G1 připojit na nabíječku GU1. Postup správného nabíjení je uveden v kapitole 7.4. Pro výstrahu je na panelu ovládání nainstalováno tlačítko SB4 kterým se spíná výstražná houkačka HA1.

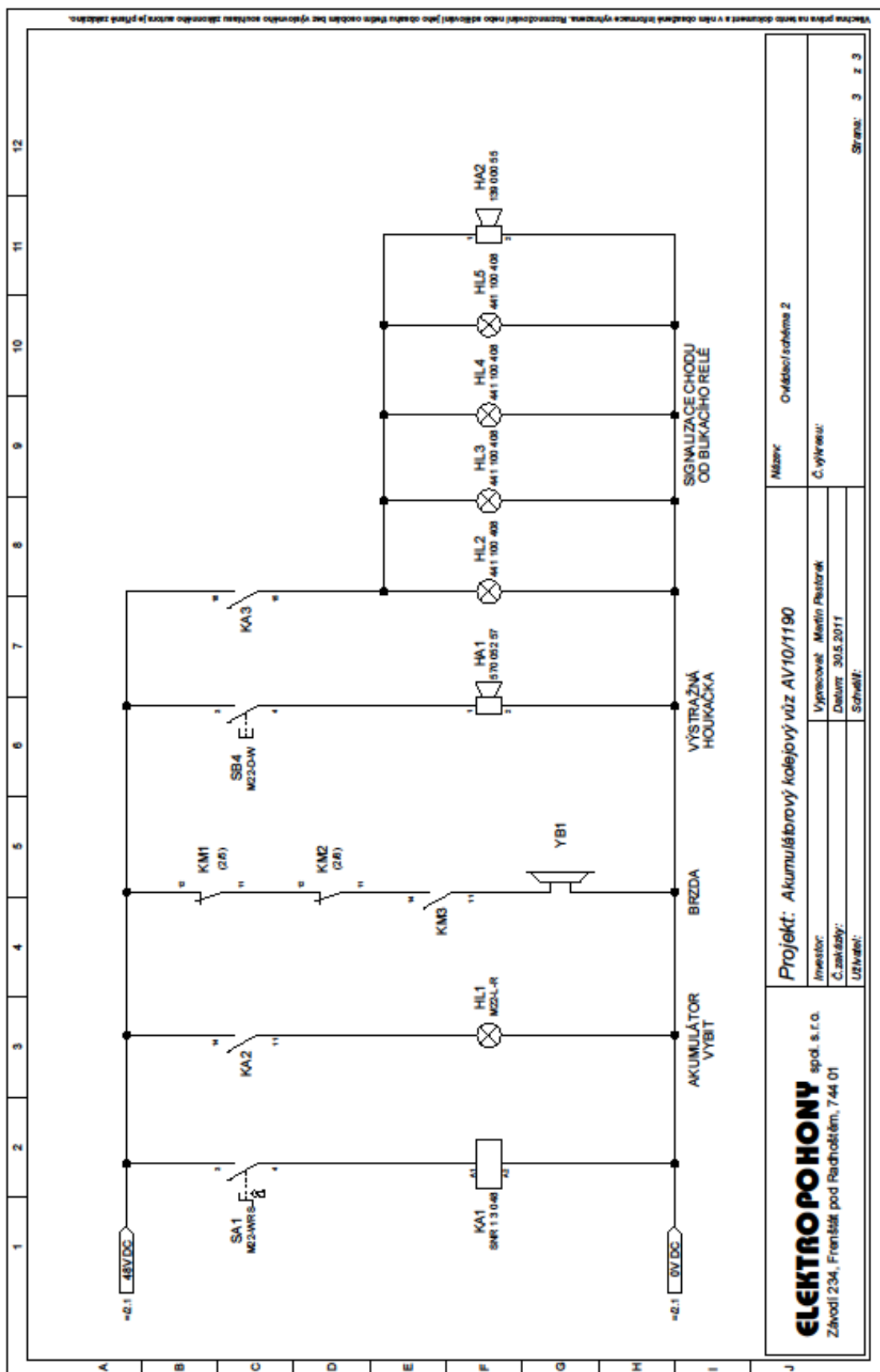
Na Obrázek 8.1, Obrázek 8.2 a Obrázek 8.3 je uvedeno schéma zapojení silové a ovládací části celého pohonu akumulátorového kolejového vozu AV10/1190. Schémata jsou kreslena v programu PC Schematic.



Obrázek 8.1 Silová část zapojení.



Obrázek 8.2 Ovládací část zapojení 1.



Obrázek 8.3 Ovládací část zapojení 2.

9 ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout pohon pro akumulátorový kolejový vozík AV10/1190 určený pro dopravu v podniku. V úvodu práce je definován popis vozu a způsob jeho provozu. V kapitole 1 je uveden základní rozbor v různých režimech provozu vozu a teoretický výpočet minimální tažné síly na kole vozu. Samotnému výpočtu minimální tažné síly, která činí 1555,5 N odpovídá potřebný mechanický výkon vozu 907,4 W. Požadovaná momentově-otáčková charakteristika motoru vozu je stanovena v kapitole třetí. Požadovaná charakteristika je zobrazena na Obrázek 3.1. Dále se práce zabývá na vhodný výběr motoru pro náš vůz. Z uvedených výhod a nevýhod jednotlivých motorů je použit asynchronní motor s kotvou nakrátko. Pro náš byl vybrán motor od značky CANTONI MOTOR od výrobce INDUKTA s. a. s typovým označením Sh 90L-4. Výpočty jeho jmenovitých parametrů jsou vyjádřeny v kapitole páté.

Další část této práce je zaměřena na nalezení vhodné akumulátorové baterie a vybrání vhodného trakčního měniče pro náš vůz. Použitý měnič je od firmy CURTIS INSTRUMENTS, INC z modelové řady 1234 s typovým označením Curtis Model 1234-527X. Jeho popis a realizace je uvedena v kapitole 7.2. Následující kapitola je zaměřena na návrh potřebné trakční baterie. Z možných variant byla vybrána elektrolytická baterie Hawker Water Less s typovým označením 4 PzM 240 od firmy HAWKER. V hodnou nabíjecí stanici naší baterie je Hawker Lifetech XFC FLEX s typovým označením TC1 LT 48V 30A.

V poslední části práce je uvedeno ovládání a spouštění vozu. Silové a ovládací schémata zapojení jsou zobrazena na Obrázek 8.1, Obrázek 8.2 a Obrázek 8.3.

Tato práce je hlavně zaměřena na použití střídavého pohonu snadného na údržbu napájeného stejnoměrným napětím z baterie. Při realizaci je použit sériově vyráběný měnič, který je ovšem z hlediska univerzálního použití pro tento vůz předimenzovaný, jelikož se výkonově menší nevyrábí. Pro tuto realizaci bych doporučil návrh samostatného měniče speciálně pro tento vůz.

LITERATURA

- [1] SKALICKÝ, J. *Elektrické servopohony*. Brno, 2001. 86 s. Skripta. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky. ISBN 80-214-1978-4.
- [2] ČERNÝ, M. *Elektrické pohony*. Brno, 1986. 199 s. Skripta. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechnická ISBN 55-635-86.
- [3] ŠUBRT, J. *Elektrické pohony a výkonová elektrotechnika*. Brno, 1988. 188 s. Skripta. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechnická. ISBN 55-640-88.
- [4] PROCHÁZKA, P. *Využití palivových článků v trakčních pohonech*. Brno, 2010. 91 s. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky.
- [5] SKALICKÝ, J. *Navrhování elektrických pohonů*. Brno, 2002. 84 s. Skripta. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky.
- [6] HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fyzika : Vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Praha : VUTIUM a PROMETHEUS Praha, 2001. 336 s.
- [7] KÁRNÍK, L. *Návrh pohonů* [online]. 2007-01-08 [cit. 2010-12-07]. Modelování a analýza servisních robotů. Dostupné z WWW: <http://robot2.vsb.cz/elekskripta/servisni_roboty/interest13122211111111111111111111111111.htm>.
- [8] BEDNÁŘ, P. *Manuál pro údržbu a obsluhu kolejového akumulátorového vozu AV 10/1190*. Praha : TEBECO spol. s r. o., 2010-10-24. 8 s.
- [9] VOREL, P. *Výkonové elektromechanické systémy v silničních vozidlech*. Brno, 2005. 137 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky.
- [10] PATOČKA, M., PROCHÁZKA, P., KLÍMA, B. et al. Elektromobil s vodíkovými palivovými články. In *XXII Medzinárodné sympóziu učiteľov elektrických pohonov SYMEP08*. Trenčín: Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 2008. S. 89-100. ISBN: 978-80-8075-337-5.
- [11] ENERSYS [online]. 2003-2011 [cit. 2011-05-28]. Návod k použití Hawker Water Less. Dostupné z WWW: <<http://www.enersys-hawker.com/pdf/waterless/ga/cz.pdf>>.
- [12] ENERSYS [online]. 2003-2011 [cit. 2011-05-28]. Návod k použití Hawker Lifetech. Dostupné z WWW: <http://www.enersys-hawker.com/pdf/hf_charger/lifetech/ga/ga_hf_lt_cz.pdf>.
- [13] ENERSYS [online]. 2003-2011 [cit. 2011-05-28]. Technické údaje Vysokofrekvenční nabíječky akumulátorů Lifetech XFC FLEX. Dostupné z WWW: <http://www.enersys-hawker.com/pdf/lifetechxpcfex/td/lifetechxpcfex_td_cz.pdf>.
- [14] ENERSYS [online]. 2003-2011 [cit. 2011-05-28]. Technical data Hawker Water Less. Dostupné z WWW: <http://www.enersys-hawker.com/pdf/waterless/td/water_less_td_gb.pdf>.

-
- [15] CURTIS [online]. 2007-2011 [cit. 2011-05-12]. Manual Models 1232 1234 1236 & 1238 AC induction motor controllers. Dostupné z WWW: <<http://www.curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=ProductsGrid.ACMotorControllers>>.
- [16] CURTIS [online]. 2007-2011 [cit. 2011-05-12]. Curtis Model 803. Dostupné z WWW: <<http://www.curtisinstruments.com/index.cfm?fuseaction=ProductsGrid.ACMotorControllers>>.
- [17] K2 ENERGY [online]. 2009-2011 [cit. 2011-05-28]. Cell batteries 26650EV. Dostupné z WWW: <<http://www.peakbattery.com/products-26650EV.html>>.